

令和元年6月4日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H05009

研究課題名(和文) 畜産動物用無線聴診センサシステムの開発

研究課題名(英文) Development of Wireless Stethoscope System for Livestock

研究代表者

伊藤 寿浩 (Itoh, Toshihiro)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：80262111

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：畜産牛の心拍間隔(R-R間隔)計測・ストレス評価は、疾病の早期発見、生産性向上および動物福祉の観点から重要であるため、農場で使用できる計測評価システムの開発が望まれている。本研究では、畜産牛の心音を非接触で計測できる聴診センサを開発するとともに、計測した心音データから高精度に心拍間隔を算出する手法を開発した。そして、牛舎環境の子牛に対し、100 mm程度離れた位置で心音計測を行い、心拍間隔を算出した結果、心電計による場合と同等レベルの心拍間隔計測が可能であることが判った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

動物の心拍間隔計測を行うことができれば、自律神経・ストレスの評価が可能となり、動物の健康管理が精密にできるようになると期待されるが、これまでは心電計や脈波計を装着して測定しなければならないため、動物の装着負担や計測への装着状態の影響などがあり、農家などで行うことは困難であった。本研究により、非接触で計測が行えるようになれば、上記の問題が解消され、農場へ導入することもできるようになるため、健康管理に基づく生産性をより高めた精密畜産が可能となる。

研究成果の概要(英文)：It has been desired to realize a system that evaluates the cattle's stress from the variation of the heartbeat interval (RR interval) on farms, because the stress monitoring should be important for early detection of diseases, productivity improvement and animal welfare. In this study, a non-contact type plethysmography sensor which utilizes a microphone highly-sensitive to the cow's heart sound frequency band was developed. In addition, an algorithm to calculate the heartbeat interval in a high accuracy was also developed. It was found that the calculated heartbeat interval from the calf's heart sound which was detected by the non-contact sensor at a distance of 100 mm could be nearly equivalent to the RR interval by electrocardiography.

研究分野：無線センサネットワーク

キーワード：リモートセンシング センサネットワーク

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

近年、我が国の牛畜産においては、大規模集約管理技術と濃厚飼料多給技術により、畜産農家の大規模化・生産性向上が進んできたが、一方で濃厚飼料を過剰給与すると牛の第一胃（ルーメン）内で異常発酵をきたし、ルーメンアシドーシス、鼓腸症、胃腸炎などの消化器病を中心とした生産病と呼ばれる生産過剰に伴う疾病が増加した。また哺乳期の子牛は免疫や生理機能が不十分なため、集約多頭飼養管理下で肺炎などの呼吸器疾病の発生が目立って増加した。産業としての我が国の牛畜産を継続・発展させるためには、省力的な大規模飼養管理方式を前提とした疾病防除の技術開発が必要となるが、現在のところ少人数で個々の牛へのケアを十分に行うことは物理的に難しいため、牛の栄養障害や病気の初期症状を見逃すことが多く、生産規模が大きいほど被害も増大する。また、消化器病や呼吸器病の発症を予測するため、数百頭規模の牛への採血・胃液等採取と分析を頻繁に実施することは労力・コストの点で実用的で無いばかりか、このような検査は特に子牛への負担は大きい。つまり、集約的に大規模で飼養管理されている畜産牛で日常的に生じる消化器病や呼吸器病の発症予測あるいは早期発見を実現するためには、日々変化する個々の牛の生理機能情報を数百頭規模の牛群においても、過度な労力をかけることなく、正確に生理情報センシング・解析できる技術の開発と、その利用・評価技術の構築が必要となる。そこで、国家プロジェクト等でルーメンセンサなどの畜産牛用のウェアラブルセンサの開発が行われ、子牛に関しては、尾根部に装着する体表温センサおよび脈波センサの開発が進められてきた。しかし、体表温のみでは情報が限られること、脈波を安定に測定するのが困難であること、それらから疾病の兆候を検出する手法が確立していないことなど課題は多い。本研究では、これらの背景のもと、子牛を無線で遠隔聴診できるデバイスを開発することを目的とする。

### 2. 研究の目的

本研究では、子牛を無線で遠隔聴診できるデバイス・システムを実現するため、以下の研究開発を行う。

- ・子牛に適した聴診素子を開発する。
- ・上記聴診素子および無線送信モジュールを集積化したカーフジャケット型デバイス製造技術を開発する。
- ・カーフジャケット型デバイスを試作し、子牛を使った実験により、基本動作特性や装着性・耐久性を評価する。
- ・聴診データを解析して、疾病予測・早期発見基本ソフトウェアを試作する。

### 3. 研究の方法

(1) 圧電 MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術とフレキシブルデバイス製造技術を用いて、子牛に適した聴診素子を開発する。特に心音周波数に対して高感度化したセンサを開発する。

(2) 聴診素子の装着位置の検討と聴診素子と皮膚との間の中間層材料・構造を検討して、ウェアラブルデバイス化を検討する。また、デバイスの無線化および非接触化を検討する。

(3) パターンマッチングなどを用いることにより、聴診素子で測定したデータから心拍間隔を出力できるシステムを開発する。

### 4. 研究成果

#### (1) 子牛用聴診センサデバイスの開発

圧電 MEMS 聴診素子については、圧電膜として AlN 膜を採用することとし、温度を同時計測できるように、同一チップ (5 mm 角) 上に、AlN 圧電カンチレバー型センサアレイと、その周囲に Pt 抵抗型温度センサとを集積化したデバイスを設計し、SOI 基板と AlN スパッタ膜を用いる製造プロセスの開発を行った。

聴診センサデバイスの改良として、圧電 MEMS 聴診素子の特性向上を図るため、3D プリンタで作成した樹脂性のカンチレバーに薄型圧電 Si デバイスを搭載した新たなデバイス構造を提案・設計し、試作を行なった。試作したデバイスは、50 Hz 付近に共振ピークを有しており、心音周波数帯域で高感度化することができた。

さらに聴診センサデバイスの高感度を行えば、牛の装着負担が無い非接触聴診も可能であると考え、牛聴診素子専用回路の開発を行った。フィルタ回路と増幅回路を多段に接続することで、心音周波数帯域である 20 Hz ~ 40 Hz に特化した増幅回路を作製して、心音周波数帯域外の音の影響を抑えて心音を検出する、聴診センサを開発した。開発したセンサの周波数特性を図 1 に示す。この聴診

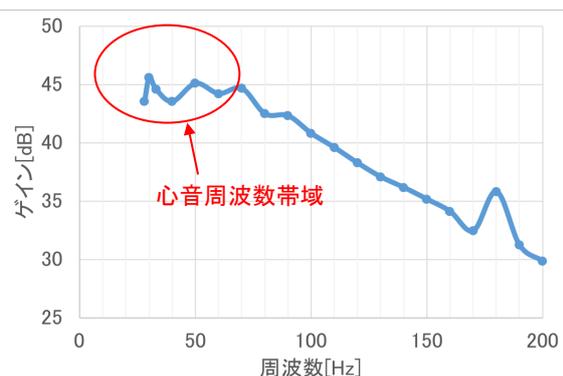
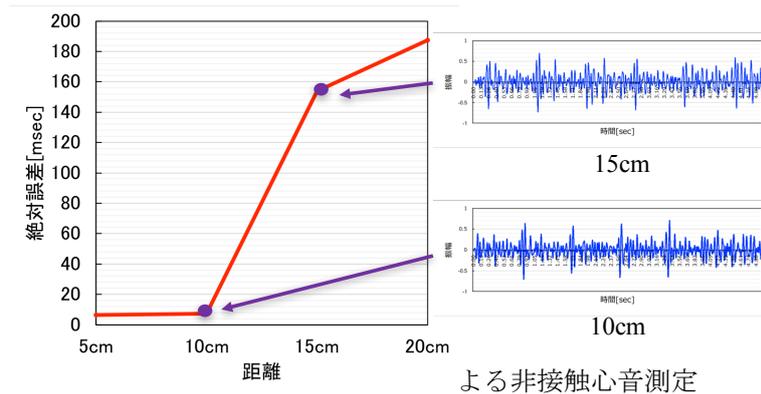


図 1 聴診センサの周波数特性

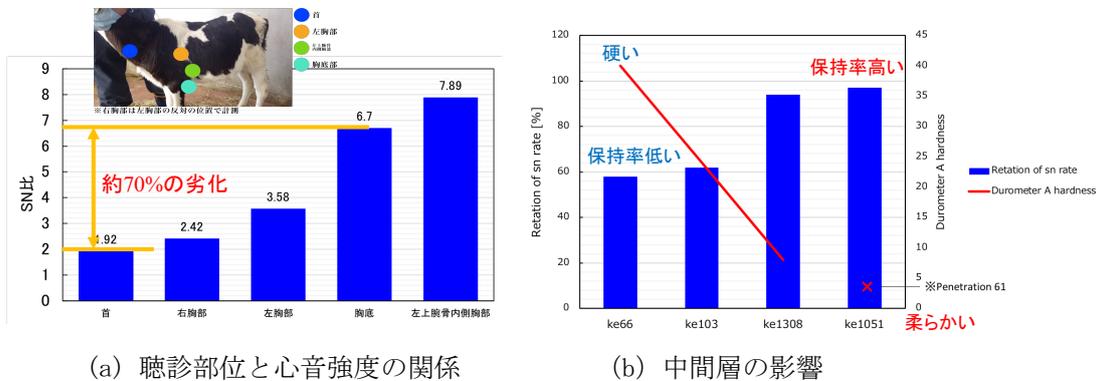
センサを用いて、実際の牛舎環境において牛の心音計測を行った結果、体表から 100mm 離れた位置において非接触で心音測定が可能であることが明らかとなった (図 2)。



(2) ウェアラブルデバイス化の検討

小型無線モジュールの検討に関し、無線電子聴診器を用いて、子牛への装着負担が小さくかつ心音信号の取得が可能で、心臓に近い部位である胸底部に装着する心音測定デバイスを試作して、実子牛の心音測定を実施した。当初は、聴診素子を布に集積化し、心臓付近の心音が計測しやすい部位に装着する予定であったが、コストや夏場での使用などに関し、動物研究者と検討した結果、聴診素子を首輪に集積した方が適当であるとの結論に至った。そこで、上記心音測定デバイスを用いて、胸底部で聴診した場合と、首輪接触位置で聴診した場合の心音レベルの比較を行った。その結果胸底部において取得できる心音信号の 30 % の信号が首輪接触位置で取得可能であることがわかった (図 3 (a))。

聴診素子と皮膚との間の中間層に関しては、集音効果や音響インピーダンスマッチングの観点、および牛の装着負担の観点からも最適化が重要である。聴診センサと皮膚の間に様々な硬さ・厚さのシリコンを挿入して心音レベルの測定を行い、厚さ 10mm、デュロメーター A 型測定値 8 以下のシリコンを挟んだ場合、接触聴診の場合の 95 % 以上の心音信号を検出できることがわかった (図 3 (b))。



(a) 聴診部位と心音強度の関係 (b) 中間層の影響  
図 3 聴診素子装着方法の検討

(3) 測定心音データから心拍間隔を算出する手法の開発

心音データには、牛の運動に起因する音や環境音などの雑音が含まれているが、これらの雑音の中には心音と同じ周波数帯域を持っているものもあるため、従来の閾値手法は、これらの雑音が小さい安静時あるいは拘束時にしか適用できない。そこで、新たに心音の特徴を抽出した波形に対してテーブルマッチングを行う手法を開発した (図 4)。すなわち、心音の I 音、II 音の検出を心音信号波形のエンベロープを特徴量としたパターンマッチング法により行うことで、歩行中などの S/N 比の低い環境下でのロバストな計測を実現した。実子牛 2 頭について、心電測定と心音測定の同時計測を行い、心電データから計測した心拍間隔との誤差率について、先行研究による閾値手法と提案手法でと比較を行った結果、提案手法による精度の向上を確認することができた。

また、非接触心音計測ソフトウェアとして、非接触で測定した心音から心電の R ピークを高精度推定するソフトウェアを開発した。R ピークを推定する手法として、2つの手法、すなわちフィルタバンクを用いる手法と、STFT (短時間フーリエ変換) と機械学習を用いる手法とを開発した。居室環境でマイクにより非接触測定した人の心音に対し、これらの手法を適用して R ピーク推定精度の評価を行った。フィルタバンクを用いた手法では、通過帯域 31~37 Hz、設定オフセット 71.5 ms の時に最も高い精度が得られ、推定誤差は  $-0.6 \pm 4.5$  ms であった。一方、STFT と機械学習を用いる手法では、STFT 処理後のデータ 1 秒分を 1 つのデータとして心電と関連付

け、学習を行ってRピーク推定を行った。学習手法ではk近傍法(kNN)が有効であることが判明し、Rピーク推定誤差 $-2.9 \pm 6.6$  msが得られた。2つの手法を比較すると、フィルタバンクを用いた手法の方が高精度であることがわかったが、いずれも自律神経機能を調べる心拍(R-R)間隔計測には十分と言える10 ms以下の精度を得ることができた。

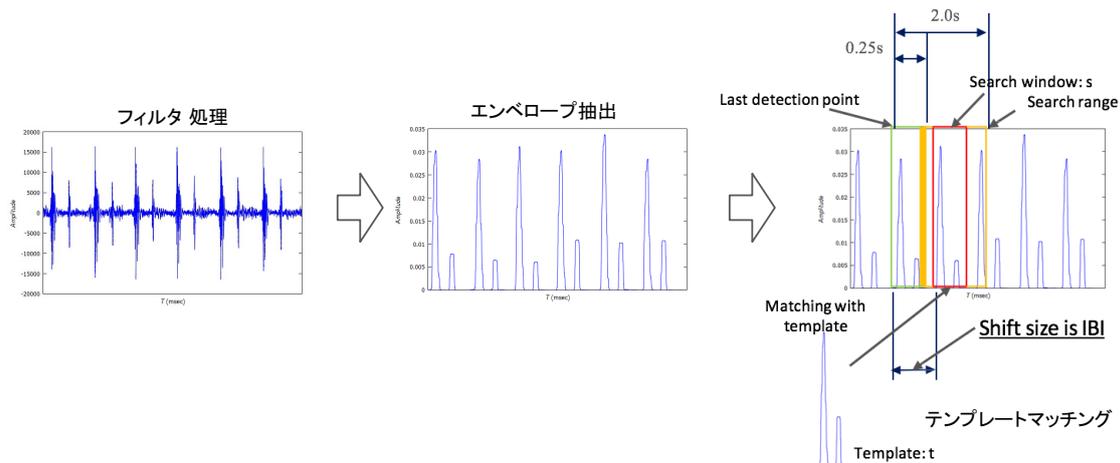


図4 心拍間隔計測アルゴリズム

## 5. 主な発表論文等

[学会発表] (計7件)

- ① 安藤佳輝、畜産動物の心拍間隔計測のための非接触心音センサの検討、第33回エレクトロニクス実装学会春季講演大会、2019年
- ② 安藤佳輝、心拍間隔の非接触センシング、第35回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム、2018年
- ③ 望月賢輝、マイクを用いた非接触心音計測に関する研究、2018年度精密工学会秋季大会学術講演会、2018年
- ④ Yuki Morota, Non-contact heart sound measurement system for health monitoring of calves, Bio4Apps 2017 (International Conference on BioSensors, BioElectronics, BioMedical Devices, BioMEMS/NEMS & Application), 2017年
- ⑤ 諸田裕紀、無線聴診システムによる子牛の健康モニタリング、第34回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム、2017年
- ⑥ Yuki Morota, Calf health monitoring with wearable wireless stethoscope device, The 8<sup>th</sup> Japan-China-Korea MEMS/NEMS, 2017年
- ⑦ 諸田裕紀、畜産動物用ウェアラブル心拍計の検討、2017年度精密工学会春季学術講演会、2017年

## 6. 研究組織

### (1) 研究協力者

研究協力者氏名：高松 誠一

ローマ字氏名：(TAKAMATSU Seiichi)

研究協力者氏名：新井 鐘蔵

ローマ字氏名：(ARAI Shozo)

研究協力者氏名：宮本 亨

ローマ字氏名：(MIYAMOTO Toru)

研究協力者氏名：増田 誉

ローマ字氏名：(MASUDA Takashi)

研究協力者氏名：諸田 裕紀

ローマ字氏名：(MOROTA Yuki)

研究協力者氏名：安藤 佳輝

ローマ字氏名：(ANDO Yoshiki)

研究協力者氏名：望月 賢輝

ローマ字氏名：(MOCHIZUKI Kenki)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。